



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV MECHANIKY TĚLES, MECHATRONIKY A BIOMECHANIKY

INSTITUTE OF SOLID MECHANICS, MECHATRONICS AND BIOMECHANICS

NÁVRH SYSTÉMU PRO MĚŘENÍ PLECHOVÝCH ODŘEZKŮ

DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR MEASURING SHEET-METAL OFFCUTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jaroslav Ďurkovský

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Michal Bastl

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky
Student: **Jaroslav Ďurkovský**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Michal Bastl**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Návrh systému pro měření plechových odřezků

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce je navrhnout systém pro automatické měření plechových odřezků čtvercového průřezu v kovovýrobě. Výsledný návrh musí cenou a přesností vyhovovat specifikaci zadavatele. Předpokládá se, že výsledky práce povedou k návrhu reálného zařízení, které bude nasazeno v průmyslu.

Cíle bakalářské práce:

1. Nastudujte problematiku.
2. Dle specifikace navrhňte možnosti řešení.
3. Zvolte vhodnou sensoriku a metodu zpracování výsledků měření.
4. Provedte praktické testování zvolené metodiky.
5. Zhodnoťte a zdokumentujte výsledky práce.

Seznam doporučené literatury:

Valášek, M.: Mechatronika, Vydavatelství ČVUT 1995

Shigley J. E.: Konstruování strojních součástí, VUTIUM, 2011

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Jindřich Petruška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

Abstrakt

Táto práca sa zaoberá návrhom a testovaním zariadenia na automatické meranie plechových odrezkov obdĺžnikového tvaru. Výsledné zariadenie musí dosahovať požadovanú presnosť, rýchlosť merania a cenou vyhovovať požiadavkám zadávateľa. Výsledok práce by mal viesť k návrhu reálneho zariadenia na uplatnenie v priemyselnej výrobe.

Abstract

This thesis describes design and testing of a device for automatic measurements of sheet metal offcuts of rectangular shape. Resulting device must have measuring accuracy, speed and reasonable price requested by company. Outcome of following project should lead to development of real device for application in industry production.

Klíčové slová

Meranie, Triangulačné optické senzory, Chyby merania, Metóda najmenších štvorcov

Key Words

Measurement, Triangulation optical sensors, Measurement errors, Least squares method

Bibliografická citácia

ŽURKOVSKÝ, J. Návrh systému pre meranie plechových odrezkov. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 38 s. Vedúci bakalárskej práce Ing. Michal Bastl.

Čestné prehlásenie

Prehlasujem, že som bakalársku prácu na tému „Návrh systému pre meranie plechových odrezkov“ vypracoval samostatne s použitím odbornej literatúry a prameňov uvedených v zozname, ktorý tvorí prílohu tejto práce.

26.5.2017

.....
Jaroslav Ďurkovský

Pod'akovanie

Ďakujem týmto Ing. Michalovi Bastlovi za cenné pripomienky a rady pri vypracovaní a odborné vedenie bakalárskej práce. Ďalej by som chcel poďakovať firme MICRO-EPSILON za zapožičanie optických senzorov.

OBSAH

1. Úvod	7
2. Ciele práce	8
3. Teoretický rozbor	9
3.1. Meranie	9
3.1.1. Základné pojmy	9
3.1.2. Chyby Merania	10
3.1.3. Neistoty merania.....	11
3.1.4. Metóda najmenších štvorcov	13
3.2. Senzory na meranie vzdialenosti.....	13
3.2.1. Rozdelenie senzorov na meranie vzdialenosti.....	14
3.2.2. Dôležité parametre senzorov	15
3.3. Indukčné senzory	15
3.4. Kapacitné senzory	15
3.5. Ultrazvukové senzory.....	16
3.5.1. Princíp merania	16
3.6. Optické senzory.....	17
3.6.2. Metódy merania.....	19
3.6.3. Výhody a nevýhody optických senzorov	21
3.7. Zhrnutie	22
4. Návrhy meracích zariadení	23
4.1. Využitie 3 laserových senzorov bez pohybu.....	23
4.2. Využitie servomotoru s enkodérom a laserového senzoru.....	24
4.3. Využitie 2 laserových senzorov v pohybe	25
4.4. Využitie 4 laserových senzorov v pohybe	26
4.5. Využitie 2 kamier	27
4.6. Využitie laserových brán.....	28
5. Testovanie	29
5.1. Triangulačný senzor ILD 1402	29
5.2. Triangulačný senzor ILD 1700	30

5.3.	Konštrukcia meracieho zariadenia	31
5.4.	Meranie	31
5.5.	Spracovanie dát	33
6.	Záver	36
7.	Zoznam použitých zdrojov	37

1.Úvod

Meranie rozmerov kovových kusov je jedna z najbežnejších činností v strojárskych firmách. Každý vyrobený kus je nutné podrobiť kontrole tvaru a veľkosti. V dnešnej dobe ,kedy má strojársky priemysel tendenciu automatizovať svoju výrobu, má už mnoho robotov a automatov v sebe zabudované zariadenia na kontrolu výsledného výrobku. K takýmto zariadeniam patria aj automatické píly, ktoré vyrezávajú rôzne súčasti z plechu s vysokou presnosťou. Meranie odpadu , ktorý v tomto procese vzniká vo forme odrezkov, sa aj naďalej realizuje ručne. Zvyčajne sa tieto odrezky jednoducho vyhodlia, pritom mnoho krát ide o drahý materiál , ktorý by bolo možné jednoducho použiť pri ďalšej výrobe.

V súčasnosti je cieľom každej firmy optimalizovať svoju výrobu, tak aby dochádzalo k čo najmenším stratám a proces výroby bol čo najefektívnejší. Jedným zo spôsobov, ako tento cieľ dosiahnuť, je vytvorenie zariadenia na meranie a následnú klasifikáciu materiálu ,ktorý sa bežne považuje za odpad.

Táto práca sa zaoberá návrhom zariadenia schopného rýchlo a presne premerať kovové obdĺžnikové odrezky ,vzniknuté po odrezaní materiálu automatickom pilou, a následne zhodnotiť ich použiteľnosť v ďalšej výrobe. Práca sa skladá z teoretického rozboru danej problematiky, návrhov na konštrukciu vyššie zmieneného zariadenia a následne testovania použiteľnosti zvolených metód. Na záver práce je vyhodnotenie otestovaných výsledkov a odporúčenie pre uplatnenie tohto zariadenia v priemyselnej výrobe.

2. Ciele práce

Hlavným cieľom tejto práce je návrh zariadenia na meranie plechových odrezkov. Jednotlivé kroky, ktoré bolo nutné splniť sú:

- Naštudovanie problematiky
- Podľa špecifikácie navrhnutie možností riešenia
- Zvolenie vhodných senzorov a metódy spracovania výsledkov meraní
- Prevedenie praktického testovania zvolenej metódy
- Zhodnotenie a zdokumentovanie výsledkov práce

3. Teoretický rozbor

3.1. Meranie

Meranie je proces ,pri ktorom formou experimentovania a počítania, sa zisťuje veľkosť danej meranej veličiny. Je to proces zberu a prenosu a spracovania informácií o chcenej veličine a porovnávanie výslednej hodnoty so zvolenou mernou stupnicou.

3.1.1. Základné pojmy

a) Stupnica

Je to súbor postupne rozložených čísel rovnomerne rozložených pozdĺž čiary ktorý symbolizujú hodnoty nameranej veličiny. Rozdeľuje sa na stupnice ktoré obsahujú nulový bod alebo neobsahujú nulový bod.

b) Nulový bod

Nulový bod je značka na ktorú by sa mal nastaviť merací prístroj pokiaľ neprebíha meranie resp. keď je prístroj odpojený.

c) Merací rozsah

Predstavuje maximálnu hodnotu ktorú môže meraná veličina pri meraní dosiahnuť. Väčšinou je tento rozsah označený najvyššou hodnotou stupnice . Meracie prístroje sa ďalej delia na prístroje s jedným a s viacerými meracími rozsahmi.

d) Meracia metóda a postup merania

Postup merania je to detailný popis jednotlivých princípov a spôsobov merania, ktorý môže obsahovať aj výpočty potrebné k získaniu požadovanej veličiny.

Metóda merania je súbor merných postupov ktoré sú logicky zoradené pre získanie požadovanej mernej veličiny. Podľa spôsobu získania sa rozdeľujú metódy na priame (priamo meraná požadovaná veličina) a nepriame (meraná iná veličina, ktorá je prepojená s požadovanou veličinou). Priame metódy sa ďalej rozdeľujú na porovnávacie a výchylkové.

Porovnávacie metódy : požadovaná veličina sa určuje porovnaním s inou veličinou rovnakej veľkosti a zmyslu.

Výchylkové metódy : je to najrozšírenejšia metóda merania. Merná veličina sa jednoducho odčíta z výchylky meracieho prístroja.

e) Výsledok merania

Výsledkom merania sa rozumie zoskupenie nameraných hodnôt priradených mernej veličine. Toto zoskupenie by teoreticky malo reprezentovať presnú hodnotu mernej veličiny, ktorú však nie je možné získať, preto pri každom meraní pracujeme s určitou presnosťou. Presnosť merania vyjadrujeme ako blízkosť zhody hodnoty nameranej so skutočnou hodnotou požadovanej veličiny. Presnosť je tiež možné nepriamo vyjadriť chybou merania.

3.1.2. Chyby Merania

V technickej praxi neexistuje prístroj, ktorý by nám nameral vždy skutočnú hodnotu mernej veličiny. Pri každom meraní sa teda vyskytuje chyba merania.

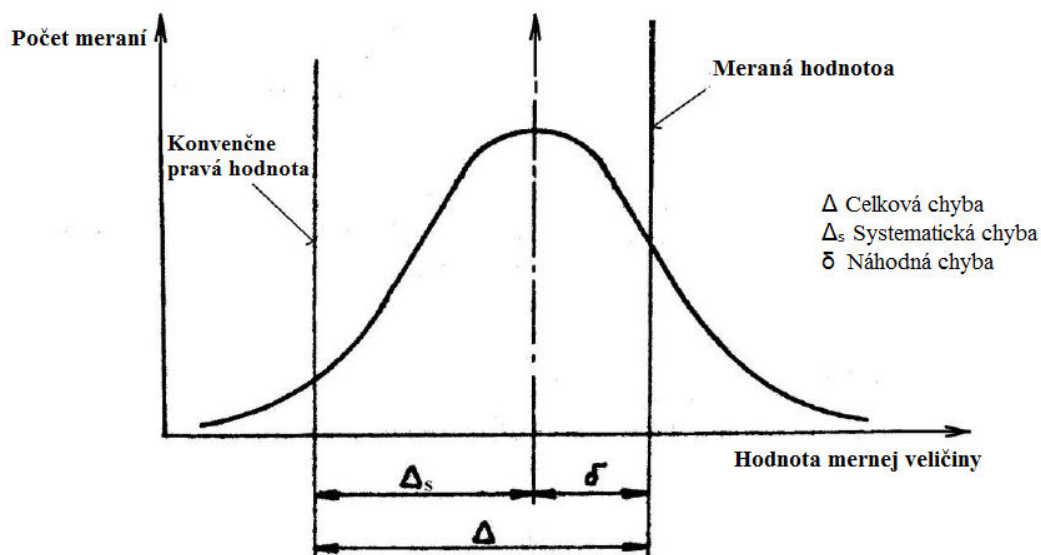
Pod pojmom chyba merania sa rozumie rozdiel medzi nameranou hodnotou požadovanej veličiny a jej skutočnou hodnotou. Podľa charakteru výskytu sa delia chyby na náhodné a systematické. Celkovou chybou sa potom rozumie súčet systematickej a náhodnej chyby. Ďalej sa rozlišujú takzvané *absolútne*, *relatívne* a *celkové chyby*.[\[4\]](#)

a) Náhodná chyba

Náhodné chyby sú tie, ktorých pôvod je neznámy. Pri meraní sa vyskytujú najčastejšie a vyznačujú sa výskytom bez zreteľnej súvislosti. Tieto chyby nie je možné v praxi odstrániť a preto sa uskutočňuje meranie viackrát, aby sa minimalizovali vplyvy týchto chýb na výslednú hodnotu.

b) Systematická chyba

Systematickou chybou sa rozumie chyba, ktorá sa vyskytuje neustále alebo jej výskyt má zreteľnú súvislosť. Môže byť spôsobená pozorovateľom, meracím prístrojom, prostredím, v ktorom meranie prebieha alebo nedokonalosťou zvolenej metódy merania. Systematická chyba sa odstraňuje korekciou merania.



Obr. 3.1: Grafické vyjadrenie chyby merania

c) Absolútna chyba

Absolútna chyba Δ_A je rozdiel nameranej hodnoty a skutočnej hodnoty veličiny. V praxi sa vyjadruje vzťahom $\Delta_A = X_m - X_p$, kde X_m je nameraná hodnota veličiny a X_p je konvenčne pravá hodnota veličiny. Keďže neexistuje spôsob, ako by bolo možné zistiť presnú hodnotu veličiny, používa sa takzvaná *konvenčne pravá hodnota veličiny*. Týmto pojmom sa rozumie hodnota, ktorá je veľmi blízka skutočnej hodnote.

d) Relatívna chyba

Relatívna chyba Δ_r je vyjadrená ako podiel nameranej hodnoty a konvenčne pravej hodnoty veličiny podľa vzťahu

$$\Delta_r = \frac{X_m - X_p}{X_p} \quad (3.1)$$

3.1.3. Neistoty merania

Každé fyzikálne meranie je zaťažené chybami, ktoré nie je možné úplne odstrániť. Tento fakt spôsobuje, že nameraný výsledok nie je možné vždy určiť presne. Preto platí, že skutočná hodnota sa s istou pravdepodobnosťou nachádza v okolí odhadnutej (nameranej) hodnoty v intervale danom neistotou merania, čo vyjadruje vzťah:

$$\text{Výsledok merania} = \text{odhadnutá hodnota} \pm \text{neistota merania}$$

V praxi rozlišujeme 2 spôsoby určovania neistôt a to neistoty typu A a neistoty typu B.

a) Neistota typu A

Pre určenie neistoty typu A sa využíva matematická štatistika. Ako prvé je nutné určiť aritmetický priemer ,ktorý je vyjadrený vzťahom :

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (3.2)$$

Kde N je počet meraní a x je nameraná hodnota. Následne jednotlivé namerané hodnoty sú v okolí aritmetického priemeru \bar{x} rozptýlené a mierou tohto rozptýlenia je smerodajná odchýlka \bar{s} . Neistota typu A teda udáva mieru neurčitosti v odhade skutočnej hodnoty a je daná ako hodnota smerodajnej odchýlky. Označuje sa u_A a je daná vzťahom :

$$u_A = \bar{s} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N(N-1)}} \quad (3.3)$$

b) Neistota typu B

Neistotu typu B zisťujeme inými postupmi ako matematickou štatistikou. Získavame ju napríklad zo špecifikácii dodaných výrobcom , zo skúseností pri experimentoch alebo z dát získaných pri predošlých meraniach. Pokiaľ nie je ani jedna z vyššie uvedených informácií k dispozícii , je možné neistotu typu B určiť z rozlíšenia prístroja. Následne za predpokladu ,že stupnica má rovnomerné rozdelenie, sa neistota typu B určuje opäť ako odhad smerodajnej odchýlky, ktorý je daný vzťahom:

$$u_B = \frac{\Delta}{\sqrt{12}} \quad (3.4)$$

Kde N je opäť počet meraní , u_B je hodnota neistoty typu B a Δ je rozlíšenie meracieho prístroja.

c) Kombinovaná štandardná neistota

Pri meraní v praxi je často nutné určovať neistotu veličiny Z ,ktorá je závislá na dvoch alebo viacerých veličinách ($X_1 X_2 \dots X_M$) . Každá z týchto veličín je zaťažená inou chybou merania a inou neistotou, ktoré boli vypočítané z vyššie uvedených vzťahov. Preto pre určenie neistoty závislej na viacerých veličinách zavádzame takzvanú *kombinovanú neistotu* značenú u_c , ktorá sa vypočíta vzťahom

$$u_c(Z) = \sqrt{\sum_{i=1}^M \left(\frac{\partial f}{\partial X_i} \right)^2 u^2(X_i)} \quad (3.5)$$

Kde Z je výsledná veličina , $X_1 \dots X_m$ sú veličiny na ktorých je závislá výsledná veličina a M je ich počet.

Výsledok merania teda zapisujeme v tvare $Z = \bar{Z} \pm u_c(Z)$ s vhodne zvoleným počtom desatinných miest.[\[3\]](#)

3.1.4. Metóda najmenších štvorcov

V mnohých prípadoch pri meraní dvoch navzájom závislých premenných X a Y je nutné pokusmi určiť ich funkčnú závislosť. Pri hľadaní tejto závislosti je možné využiť príslušnú teóriu alebo vytvoriť model, ktorým by sa príslušná závislosť dala opísať. Daný problém sa následne rieši nameraním N rôznych y_i odpovedajúcim príslušným x_i . Následne sa parametre ich funkčnej závislosti odhadnú pomocou takzvanej *metódy najmenších štvorcov*. Pre využitie metódy najmenších štvorcov sa využívajú mnohé algoritmy. Avšak pre účely merania rozmerov obdĺžnikových odrezkov sa predpokladá lineárna závislosť medzi hodnotami súradníc X a Y a preto pre túto prácu je dôležitá iba „aproximácia priamkou“ (vid. [kap. 5.5](#)). [3]

Aproximácia priamkou

Aproximácia priamkou využíva predpokladu že závislosť medzi X a Y je lineárna a je teda možné teoreticky povedať že platí vzťah :

$$y_0(x) = a_0 + b_0x \quad (3.6)$$

kde $b_0 \neq 0$. Následne sa pri meraní získa N dvojíc (x_i, y_i) . Potom za predpokladu že všetky smerodajné odchýlky majú rovnakú hodnotu $\sigma_i = \sigma$ je možné vypočítať parametre a a b zo vzťahu :

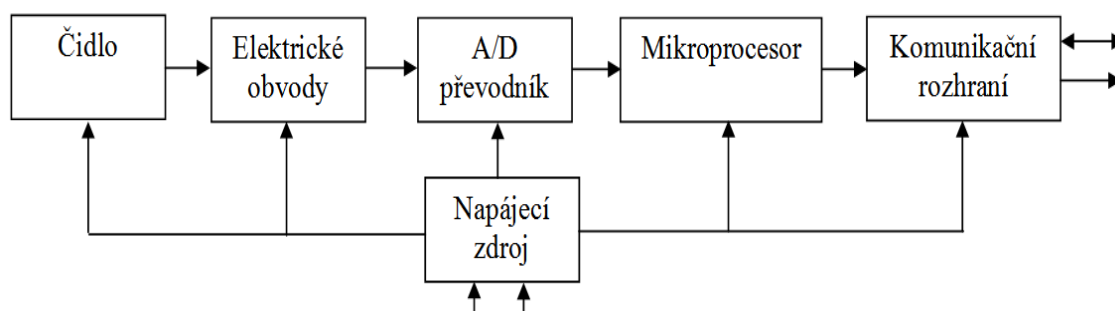
$$a = \frac{N \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_k}{N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad b = \frac{\sum x_i^2 \sum y_k - \sum x_i \sum x_k y_k}{N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (3.7)$$

Na záver sa určia štandardné neistoty σ_a a σ_b regresných parametrov a a b . Opäť potom za predpokladu $\sigma_i = \sigma$ sa vypočítajú neistoty pomocou vzťahu:

$$\sigma_a = \sqrt{\frac{N\sigma^2}{N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}} \quad \sigma_b = \sqrt{\frac{\sigma^2 \sum x_i^2}{N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}} \quad (3.8)$$

3.2. Senzory na meranie vzdialenosti

Senzor (snímač) je funkčný prvok zariadenia, ktorý pracuje v meranom prostredí. Je to primárny zdroj informácií, do ktorého vstupujú fyzikálne, chemické či biologické hodnoty a výstupom je najčastejšie elektrický signál (napätie, prúd ...). Pre vstup do senzora je najdôležitejšia citlivá časť označovaná ako čidlo, ktorá zachytáva vnemy z prostredia. Výstupný signál senzoru môže byť analógový alebo binárny (digitálny).



3.2.1. Rozdelenie senzorov na meranie vzdialenosti

Pri meraní vzdialenosti pomocou senzorov existujú dve základné skupiny: senzory pre bezkontaktné meranie a senzory pre kontaktné meranie. Táto práca sa bude zaoberať najmä bezkontaktným spôsobom merania, pretože je kvalitatívne vhodnejší pre danú úlohu. Ďalej sa tieto senzory delia aj podľa konštrukcie a to na aktívne a pasívne. Senzory na meranie vzdialenosti sa prevažne radia medzi pasívne.

a) Senzory pre bezkontaktné meranie vzdialenosti

Pri použití bezkontaktných senzorov k meraniu vzdialenosti nedochádza k priamej interakcii senzoru a meraného objektu. Toto je v praxi výhodné najmä preto, že nedochádza k poškodeniu ani senzoru ani objektu. Ďalej, keďže tieto metódy využívajú k meraniu rôzne signály, alebo vlny ako napríklad svetlo, zvuk alebo elektrické pole, sú tieto merania omnoho rýchlejšie a je možné vykonať niekedy až tisíce meraní za sekundu. K najpoužívanejším senzorom v oblasti bezkontaktného merania patria optické, ultrazvukové, indukčné, kapacitné a kamerové senzory.

b) Senzory pre kontaktné meranie vzdialenosti

Senzory pre kontaktné meranie (dotykové) musia byť v priamom kontakte s meraným objektom, aby mohlo dôjsť k meraniu. V praxi sa tieto senzory používajú k meraniu vzdialenosti menej, pretože hrozí riziko poškodenia senzoru a prevedenie týchto meraní býva konštrukčne náročnejšie. Výhodou týchto senzorov je veľmi vysoká presnosť a menšia chybovosť spôsobená vplyvmi prostredia.

Pre tento projekt nie je využitie týchto senzorov vhodné ale je možné použiť kombináciu servomotora s dotykovým snímačom alebo absolútnym enkodérom.

c) Aktívne senzory

Tieto senzory k svojej činnosti všeobecne nepotrebujú pomocný elektrický prúd. Energia sa v týchto senzoroch generuje pôsobením mernej veličiny. Tieto senzory sa však v technickej praxi na meranie vzdialenosti väčšinou nevyužívajú.

d) Pasívne senzory

Pasívne senzory k svojej činnosti musia byť zapojené na elektrický prúd alebo na iný pomocný zdroj energie. Energia v týchto senzoroch pôsobením mernej veličiny nevzniká. Princíp ich funkcie je založený na zmene niektorého z ich parametrov pôsobením mernej veličiny.

3.2.2. Dôležité parametre senzorov

Pre správne využitie a voľbu senzorov je okrem ich spôsobu merania dôležité zohľadniť aj ich parametre. Základné parametre, ktoré pri meraní vzdialenosti je dobre zvážiť sú : presnosť, linearita, limit detekcie, rozsah , opakovateľnosť merania a chybovosť

Presnosť: relatívna chyba priradená k hornej hranici merania

Linearita: maximálna odchýlka akéhokoľvek kalibračného bodu od odpovedajúceho bodu ideálnej charakteristiky

Limit detekcie: najmenšia zmena ,ktorú je možné namerať senzorom

Rozsah: oblasť od najmenšej po najväčšiu hodnotu, ktorú je možné namerať senzorom

Opakovateľnosť merania : odchýlka nameraných hodnôt pri nemennej vstupnej veličine

Uhol odklonu : maximálny uhol odklonu meranej hrany telesa, v ktorom je možné ešte vykonať meranie

Chybovosť : inklinácia senzoru k zachytávaniu rušenia , odrazu a iných nepriaznivých vplyvov spôsobujúcich chyby merania

Reakčný čas: čas od momentu, kedy senzor vyšle signál po moment kedy senzor poskytne výstupné údaje

3.3. Indukčné senzory

Fungujú na princípe kde senzor vytvorí okolo seba elektromagnetické pole. Meraný predmet pri vstupe do poľa vytvorí na snímači vírivé prúdy, ktoré zvyšujú zaťaženie senzora. Zaťaženie so znižujúcou sa vzdialenosťou predmetu a senzoru narastá, z čoho je možné vypočítať ich vzdialenosť. Tieto senzory je však možné použiť iba na meranie kovových materiálov a len na malé vzdialenosti . Z tohto dôvodu nie sú vhodné problém riešený v tejto práci .[\[2\]](#)

3.4. Kapacitné senzory

Senzor vytvorí okolo seba elektrostatické pole a sníma jeho zmenu kapacity. Na rozdiel od indukčného senzoru, kapacitný senzor dokáže snímať ako vodivé tak nevodivé predmety. V praxi sa využívajú väčšinou na meranie priblíženia. Nevýhodou kapacitných senzorov je nutnosť zachovania konštantných podmienok, aby mohlo dôjsť k meraniu a ich krátky dosah. Z tohto dôvodu sú rovnako ako indukčné senzory pre riešenie problém nevhodné. [\[2\]](#)

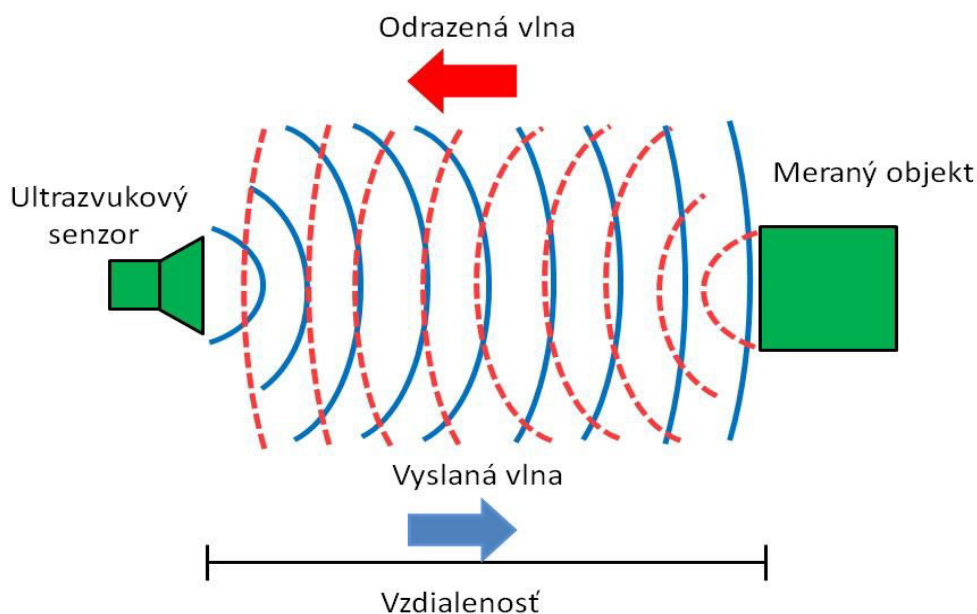
3.5. Ultrazvukové senzory

Ako ultrazvukové senzory sa označujú tie, ktoré využívajú ultrazvukové vlny na odmeranie vzdialenosti medzi meraným objektom a senzorom.

Pojem *ultrazvuk* označuje zvukové vlny s frekvenciou vyššou ako je schopné zachytiť ľudské ucho. Bežne sa ako frekvenčný rozsah ultrazvuku približne 20kHz – 1GHz a pre senzory sa využíva frekvencia 40kHz. Pre ultrazvuk platia fyzikálne zákony ako pre zvuk preto sa môže šíriť jedine hmotou. Vo vákuu nedochádza k žiadnemu šíreniu ultrazvuku. [8]

3.5.1. Princíp merania

Meranie vzdialenosti tu prebieha vyslaním ultrazvukového signálu k prekážke, do ktorej signál narazí a odrazí sa späť k meniču kde je tento signál zachytený a odmeria sa doba medzi vyslaním signálu a jeho prijatím. Rýchlosť šírenia ultrazvuku v meranom prostredí, ktorú je nutné pre zistenie vzdialenosti poznať, je závislá na hustote a teplote prostredia, ktorým sa šíry. Preto je nutné poznať vlastnosti prostredia v ktorom meranie prebieha, aby sme boli schopní zistiť rýchlosť šírenia zvuku v ňom. Výpočet vzdialenosti pri známej rýchlosti šírenia a doby letu signálu bude podrobnejšie popísaný v kapitole 2.7.2.



Obr. 3.3: Princíp merania ultrazvukového senzoru

Výhody:

Najväčšou výhodou ultrazvukových senzorov je zachytávanie aj transparentných predmetov. Preto sú veľmi vhodné napríklad pri meraní výšky hladiny vody. Senzory sú ďalej schopné pracovať aj v zaprášenom a vlhkom prostredí veľmi spoľahlivo. Takisto pokiaľ sa jedná o meranie v konštantnom prostredí, tieto senzory majú vysokú presnosť a sú mimoriadne spoľahlivé.

Nevýhody:

Hlavný nedostatok ultrazvukových senzorov je výrazná závislosť na vlastnostiach pracovného prostredia. V praxi meranie prebieha najčastejšie vo vzduchu a rýchlosť šírenia zvuku v ňom je ovplyvňovaná najmä teplotou. Túto zmenu môže zapríčiniť nielen zmena teploty okolia, ale aj zvýšené prúdenie vzduchu medzi senzorom a objektom. Komplikácie pri detekcii môže zapríčiniť aj materiál povrchu snímaného objektu. Napríklad pri meraní hladiny vody, pokiaľ je na hladine pena, nedochádza k odrazu zvukovej vlny od peny. Ďalší problém týchto senzorov je nemožnosť merania v tesnej blízkosti senzoru a vo vákuu. Medzi nevýhody ultrazvukových senzorov je možné zaradiť aj ich vyššiu cenu.

3.6. Optické senzory

Sú to senzory ktoré k bezdotykovému meraniu vzdialenosti využívajú koncentrovaný lúč svetla. Skladajú sa z vysielača (fotoemitor) a z prijímača (fotodetektor) svetla. K zisteniu vzdialenosti používajú dva základné spôsoby:

1. meranie času doletu svetla k prekážke a naspäť
2. meranie fázového posunu medzi vygenerovaným a prijatým lúčom svetla

Optické senzory patria k najviac využívaným typom senzorov v technickej praxi a to najmä vďaka svojej dobrej cene a výborným vlastnostiam, ku ktorým patria : vysoká presnosť, veľmi krátka doba merania, mnoho meracích rozsahov a možnosť merania aj v náročných podmienkach. [\[8\]](#)

3.6.1. Súčasti optických senzorov

Fotoemitor

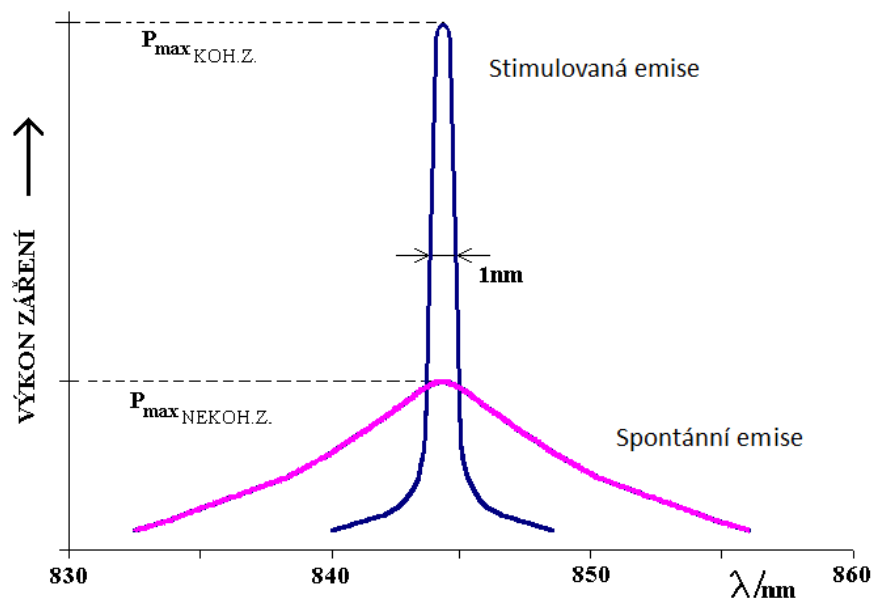
Súčasť, ktorej úlohou je generovanie koncentrovaného lúča svetla o požadovanej vlnovej dĺžke. V technickej praxi sa najčastejšie ako fotoemitory využívajú LED diódy a laserové diódy.

a) LED Dióda (Light emitting diode)

Svetelná dióda LED je polovodičová súčiastka. Pokým dochádza k prechodu elektrického prúdu diódou v priepustnom smere, dióda spontánne emituje lúč svetla. LED dióda pracuje s veľmi úzkym svetelným spektrom, ktorého vlnová dĺžka je závislá na použitom polovodičovom materiáli. Jej použitie je vhodné hlavne vďaka jej malým rozmerom, rýchlosti spínania, vysokej odolnosti a dlhej životnosti. Smerovanie lúču svetla na požadované miesto sa dosahuje tvarovaním puzdra a výsledná farba svetla nezávisí na pretekajúcom prúde

b) Laserová dióda

Laserová dióda podobne ako LED dióda je polovodičová súčiastka, kde pri prechode prúdu v priepustnom smere dochádza k emitovaniu lúču svetla. Na rozdiel od LED diód je tu však nie je emitovanie spontánne, ale stimulované pretože je prítomný rezonátor. Rezonátor je dutina s odrazovými plochami, ktorej úlohou je zosilnenie elektromagnetického pola a stimulácia emisie. Výhodou laserových diód je malý rozptyl, výrazne menší priemer zobrazeného bodu ako LED dióda a vysoký vyžarovací výkon. Nevýhodou je závislosť prahového prúdu na teplote a tým pádom aj nutnosť zabudovania tepelného snímača do senzoru z dôvodu regulácie teploty.[\[9\]](#)



Obr. 3.4: Porovnanie spektra LED a laserovej diódy [\[8\]](#)

Fotodetektor

Polovodičová súčasť, ktorá premieňa prijaté svetlo na inú merateľnú veličinu. V technickej praxi sa využívajú najmä fotodiódy a fotorezistory

a) Fotodióda

Fotodióda je polovodičová dióda, ktorá absorbuje dopadajúce svetlo. Toto svetlo na dióde generuje elektrický prúd. Fotodióda má najvyššiu citlivosť v oblasti infračerveného svetla. Jej hlavnou výhodou je vysoká rýchlosť merania, ktorá je výrazne vyššia ako pri fotorezistoroch.

b) Fotorezistor

Fotorezistor je polovodičová súčiastka využívajúca fotoelektrický jav. S rastúcou intenzitou dopadajúceho svetla klesá odpor na fotorezistore. Výhodou oproti fotodióde má pri meraní viditeľného spektra, kde je citlivejší. Nevýhodou oproti fotodióde je nízka rýchlosť merania.

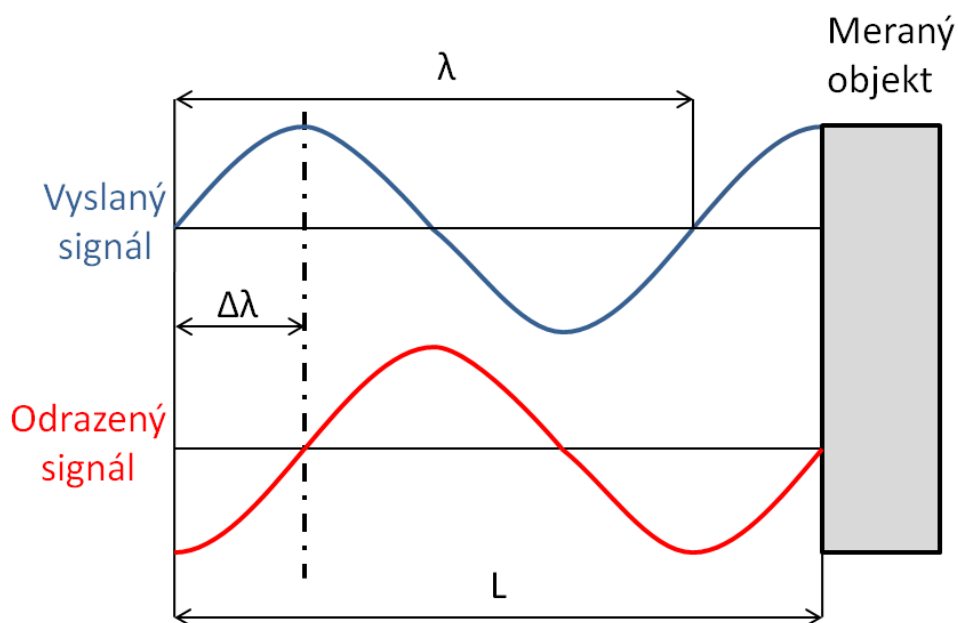
3.6.2. Metódy merania

a) TOF

Metóda TOF (Time of flight) je založená na vyslaní krátkeho laserového signálu a meraní doby jeho letu od fotoemitoru k prekážke a naspäť do fotodetektor. Pri tejto metóde sa využíva základný vzťah $t = \frac{2R}{c}$ kde t je doba letu , c je rýchlosť svetla a R je vzdialenosť prekážky od senzoru. Jedná sa teda o veľmi podobný princíp ako pri meraní ultrazvukovými senzormi. Nevýhodou tejto metódy je veľká citlivosť na presnosť merania času (1 milimeter odpovedá zhruba 6 pikosekundám) , preto je senzory pracujúce na tejto metóde vhodné používať najmä pri meraní vzdialenosti nad 1 meter. [\[7\]](#)

b) Meranie pomocou fázového posunu

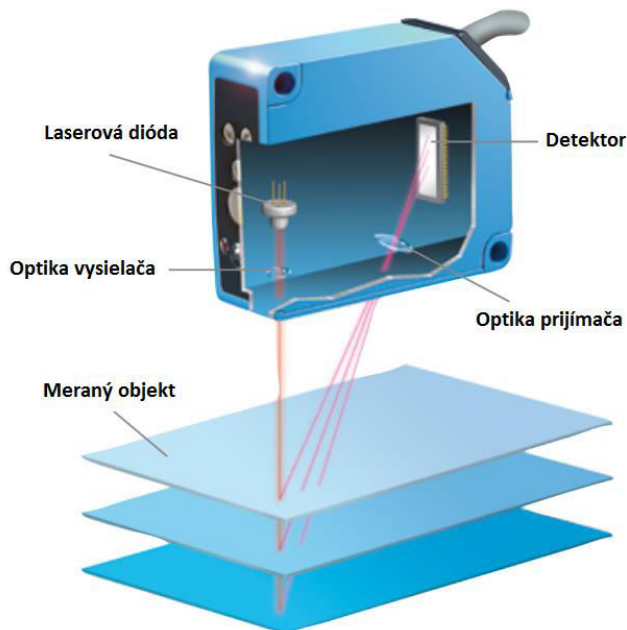
Pri tejto metóde senzor vyšle vysokofrekvenčný svetelný lúč ,ktorý sa od prekážky odrazí a do fotodetektoru dopadne s určitým fázovým posuvom. Čítač zariadenia zaznamenáva presný počet vyslaných vln do doby prijatia signálu a následne procesor zariadenia vypočíta vzdialenosť prekážky pomocou vzorca $L = N \frac{\lambda}{2} + \frac{\Delta\lambda}{2}$,kde L je vzdialenosť prekážky od senzoru, N je počet vln, λ je vlnová dĺžka a $\Delta\lambda$ je fázový posun.



Obr. 3.5: Metóda merania fázového posunu

c) Metóda triangulácie

Fotoemitor generuje úzky lúč svetla, ktorý je pomocou optiky zaostrený a vytvorí na meranom objekte malý svetelný bod. Bod je znova pomocou zobrazovacej optiky premietnutý na fotodetektor, ktorý zmeria uhol dopadu prijímaných lúčov a vypočíta vzdialenosť objektu pomocou vzorca $l = x * \tan(\alpha)$, kde l je vzdialenosť prekážky od senzoru, x je vzdialenosť fotodetektoru od fotoemitoru a α je uhol dopadu.



Obr. 3.5: Triangulačný senzor [6]

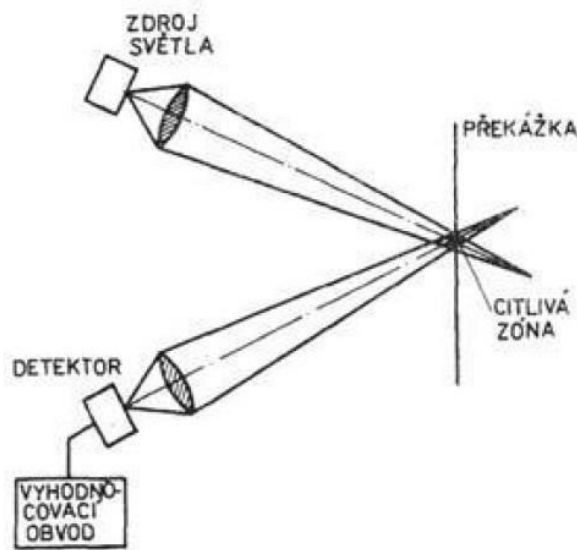
Pri meraní metódou triangulácie sa väčšinou vyslaný lúč po dopade rozptýli do priestoru, avšak na zmeranie vzdialenosti objektu potrebujeme, aby sa aspoň jeden z lúčov odrazil do fotodetektoru. Vďaka tomu dokážu tieto senzory merať vzdialenosť predmetov s rôznym uhlom naklonenia. Triangulačné senzory majú výbornú presnosť a vďaka ich vysokej rýchlosti merania dokážu merať vzdialenosť aj predmetu v pohybe, v prípade, že jeho rýchlosť nie je príliš vysoká. Nevýhodou týchto senzorov je že nedokážu merať vzdialenosť v tesnej blízkosti senzoru. [6]

d) Metóda merania intenzity svetla

Fotoemitor generuje kužeľ svetla, ktorý je ďalej usmernený optikou. Kužeľ svetla narazí do prekážky a následne sa odrazí do fotodetektoru, ktorý je napojený na procesor.

Optiky fotoemitoru a fotodetektoru sú obe zaostrené do takzvanej *citlivej zóny*.

Vzdialenosť k prekážke je možné merať jedine v prípade, že sa nachádza v citlivej zóne inak nedochádza k odrazu a nie je možné merať. Pri tejto metóde je možné merať nielen vzdialenosť senzoru od prekážky, ale aj úroveň amplitúdy a výkon svetla [7]



Obr. 3.6: Schéma metody merania intenzity svetla [7]

3.6.3. Výhody a nevýhody optických senzorov

a) Výhody:

Meranie pomocou optických senzorov patrí medzi bezkontaktné metódy merania čo značne zlepšuje kvalitu merania a jeho rýchlosť. Frekvencia merania sa pohybuje až do desiatok kHz čo umožňuje aj meranie predmetov v pohybe. Ďalej optické senzory dosahujú vysokých presností a sú schopné merať aj v zhoršených podmienkach ako napríklad v prašnom prostredí kde iné senzory vykazujú horšie výsledky. Pri použití metódy triangulácie je s týmito senzormi tiež možné merať objekty po rôznymi uhlami a s rôznou drsnosťou.

b) Nevýhody:

Najväčšiu nevýhodu optických senzorov spôsobuje to že fotodetektor okrem svetla z fotoemitoru zachytáva aj svetlo z rôznych jednosmerných (slnko , žiarovky...) a striedavých (iné senzory...) zdrojov. Tieto na fotodetektore generujú výrazné rušenie. Preto je nutné aby senzor obsahoval špeciálne obvody na odstránenie tohto rušenia. Ďalej tieto senzory často krát nie sú schopné merať vzdialenosť objektov v tesnej blízkosti senzoru. Keďže rôzne materiály s rozmanitou kvalitou povrchu majú rozdielne odrazové vlastnosti, fotodetektor zaznamenáva odlišnosti v odozve pri meraní heterogénnych materiálov.

3.7. Zhrnutie

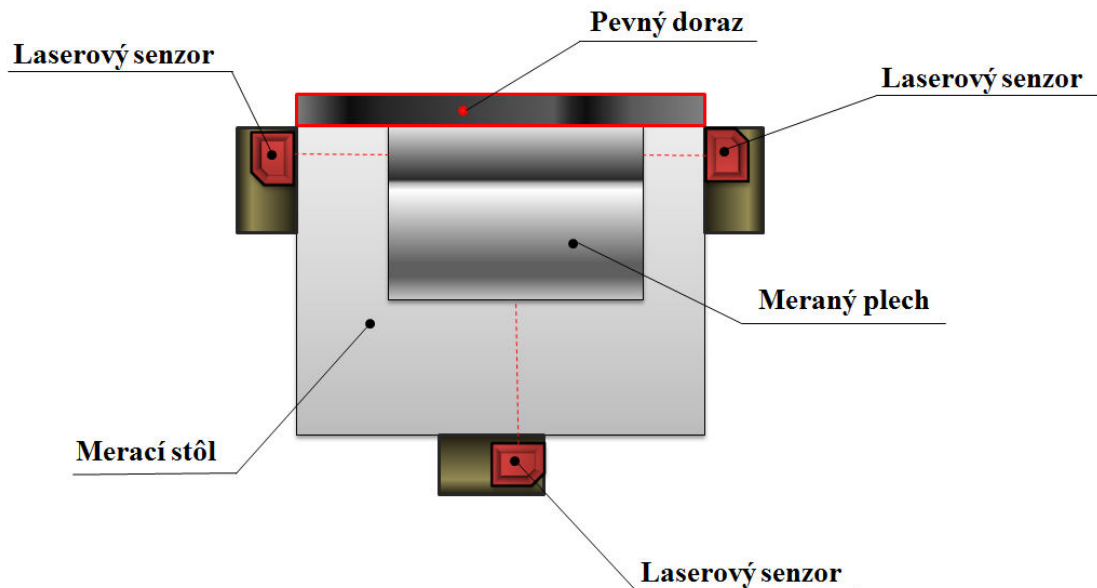
Táto práca sa zaoberá meraním dĺžky a šírky obdĺžnikových plechov . Požadovaná je vysoká presnosť a rýchlosť merania. Konštantné podmienky ako napríklad stála teplota nie sú zaručené a pre to nie je vhodné použitie ultrazvukových senzorov. Bude sa jednať o meranie veľkého rozsahu od 50x50mm po 600x1000mm a pravdepodobne bude meranie prebiehať za pohybu meraného objektu. Na základe zadaných podmienok a prieskumu dostupných senzorov sa triangulačné optické senzory javia ako najvýhodnejšie.

Triangulačné senzory vykazujú najvyššiu presnosť pri meraní do 1000mm, tiež dokážu merať aj objekty v pohybe a pod rôznymi uhlami. Ich meranie nie je závislé na teplote pracovného prostredia a pri inštalácii správnych obvodov sú schopné odfiltrovať aj okolité svetelné rušenie.

4. Návrhy meracích zariadení

Nasledujúca kapitola sa zaoberá návrhmi konštrukcie a postupov merania zariadení na splnenie zadanej úlohy spolu s ich výhodami a nevýhodami pri využití v praxi.

4.1. Využitie 3 laserových senzorov bez pohybu



Obr. 4.1: Schéma návrhu využitia 3 laserových senzorov

Postup merania

Na začiatku merania sa plech umiestni žeriavom na merací stôl ,aby nedošlo k odreniu plechu tak ,aby bol opretý o pevný doraz. Následne senzory zmerajú vzdialenosť plechu ,z čoho sa vypočítajú jeho rozmery. Na záver sa plech žeriavom presunie do skladu.

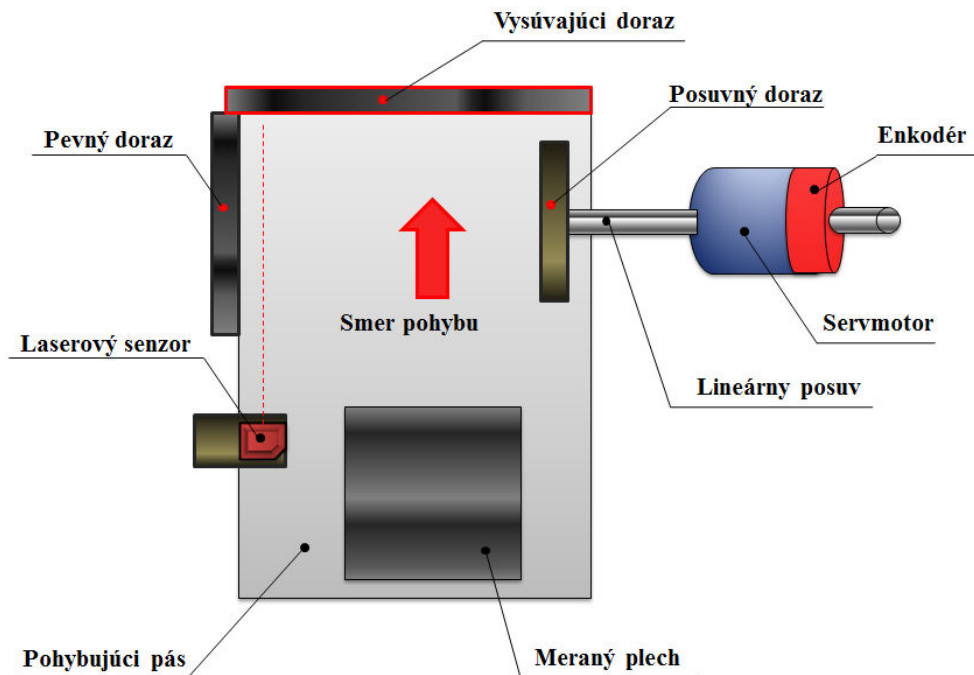
Výhody:

Najvýraznejšou výhodou tohto zariadenia ,je jednoduchosť jeho konštrukcie a úspora priestoru získaná vďaka tomu ,že meranie neprebíha za pohybu. Ďalej tu nedochádza takmer k žiadnemu poškodzovaniu stola ani plechu ,keďže je plech umiestňovaný na stôl žeriavom zhora.

Nevýhody:

Nevýhodou je vyššia cena ,pretože toto zariadenie vyžaduje až 3 laserové senzory a zároveň je meranie pomalé a neefektívne ,lebo pred každým meraním je nutné plech umiestniť na stôl žeriavom a po skončení merania ho odtiaľ zase žeriavom odstrániť.

4.2. Využitie servomotoru s enkodérom a laserového senzoru



Obr. 4.2: Schéma návrhu využitia servomotoru s enkodérom a laserového senzoru

Postup merania

Na rozdiel od prvého návrhu tu prebieha meranie na pohyblivom pásu, ktorý meraný plech dopraví k vysúvajúcemu dorazu. Počas merania je doraz vysunutý do najvyššej polohy a teda meraný plech doňho narazí, pričom pohyb pásu ešte chvíľu pokračuje, čo plech vyrovná do roviny vodorovnej s dorazom. Následne servomotor rozhýbe posuvný doraz, ktorý tlačí plech až kým sa neoprie o pevný doraz. Na záver laserový senzor zmeria vzdialenosť plechu, z čoho získame jeho prvý rozmer. V ďalšom kroku enkodér zmeria vzdialenosť, ktorú posuvný doraz prešiel do momentu opretia plechu o pevný doraz, a tým získame druhý rozmer plechu. Laserový senzor v tomto návrhu je možné nahradiť ďalším servomotorom s enkodérom, to by však zvýraznilo poškodzovanie pásu aj plechu a preto sa to neodporúča.

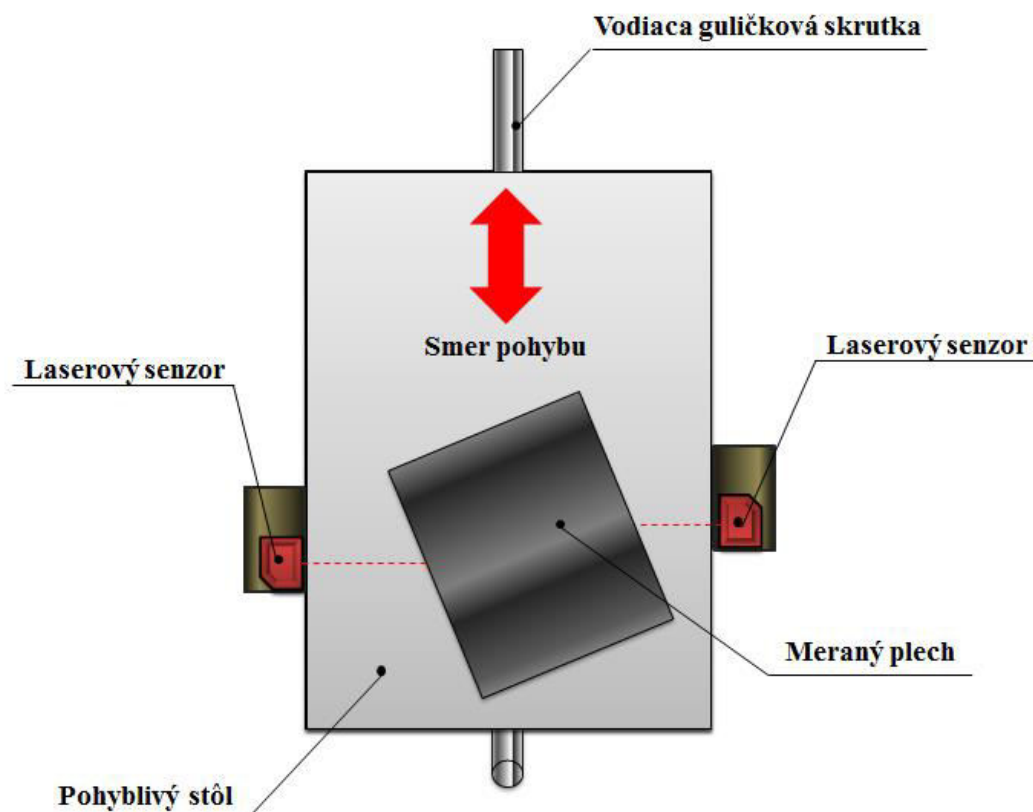
Výhody:

Hlavnou výhodou tohto návrhu je výhodná cena, keďže využíva len jeden laserový senzor, pri zachovaní dobrej presnosti. Ďalšou výhodou je rýchlosť merania a jeho efektivita, pretože meranie prebieha za pohybu a po skončení merania je možné plech dopraviť pásom ďalej do skladu.

Nevýhody:

Hlavná nevýhoda je vydieranie posuvného pásu sústredené do miesta v blízkosti pevného dorazu a možné poškodzovanie meraného plechu spôsobené jeho šúchaním pri posuve k pevnému dorazu.

4.3. Využitie 2 laserových senzorov v pohybe



Obr. 4.3: Schéma návrhu využitia 2 laserových senzorov v pohybe

Postup merania

Toto prevedenie využíva meranie v pohybe s konštantnou rýchlosťou a s použitím dvoch laserových senzorov. Pri meraní je plech položený na stôl, ktorý sa pohybuje po vodiacej skrutke. Stôl počas merania prejde rozsahom senzorov dva krát (pri pohybe dopredu a pri pohybe späť). Počas celého pohybu laserové senzory snímajú vzdialenosť a z nameraných hodnôt sa následne vymodeluje profil plechu, odkiaľ sa vypočítajú jeho rozmery. Sensory sú umiestnené oproti sebe so známym posunutím, čo umožňuje nasnímať všetky hrany plechu a zistiť jeho rýchlosť pohybu.

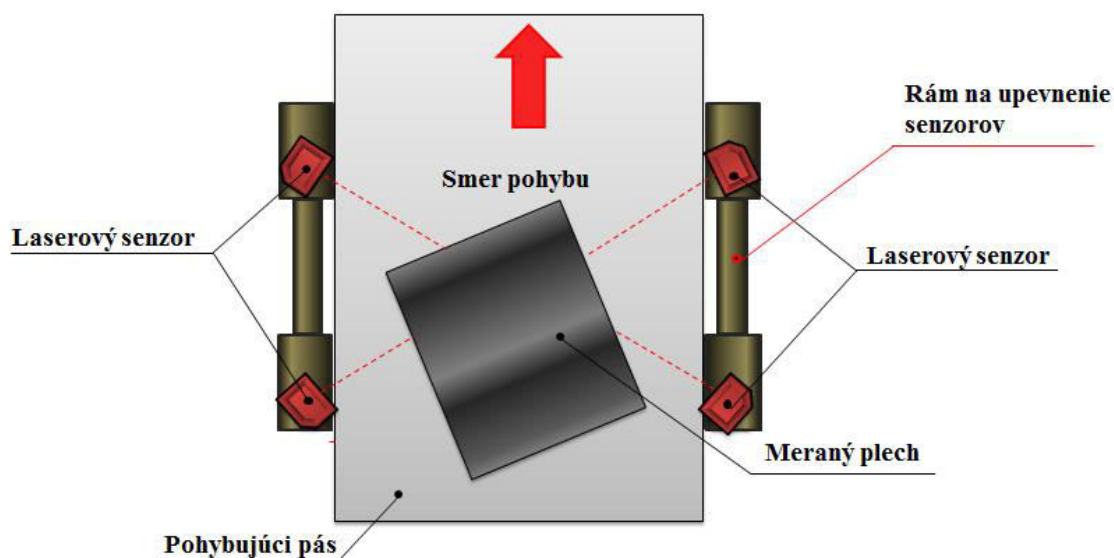
Výhody:

Pri tomto prevedení sa dosahuje najlepší pomer ceny a efektivity. Hoci sa k meraniu využívajú len dva laserové senzory, je možné merať za pohybu, čo zrýchľuje merací proces a keďže meranie prebieha v jednom procese 2 krát je možné spresniť výsledok merania.

Nevýhody:

Hlavným nedostatkom tohto prevedenia je nepresnosť merania vznikajúca pri umiestnení plechu do pozície, kde sú jeho hrany kolmé na merací lúč senzoru. V tomto prípade senzor zachytáva veľké rušenie, ktoré spôsobuje chyby merania. Ďalším nedostatkom je požiadavka na konštantnú rýchlosť pohybu a teda nutnosť použiť vodiacu skrutku.

4.4. Využitie 4 laserových senzorov v pohybe



Obr. 4.4: Schéma návrhu využitia 4 laserových senzorov v pohybe

Postup merania

Ďalší návrh pracuje so 4 senzormi, ktorých meracie lúče sú natočené pod určeným uhlom. Toto rozmiestnenie eliminuje všetky chyby ktoré by mohli vzniknúť zlým natočením plechu a umožňuje priebežný prepočet rýchlosti pohybu plechu. Meranie prebieha rovnako ako pri predošlom prevedení s rozdielom v tom, že je nutný iba jeden prechod meraného plechu.

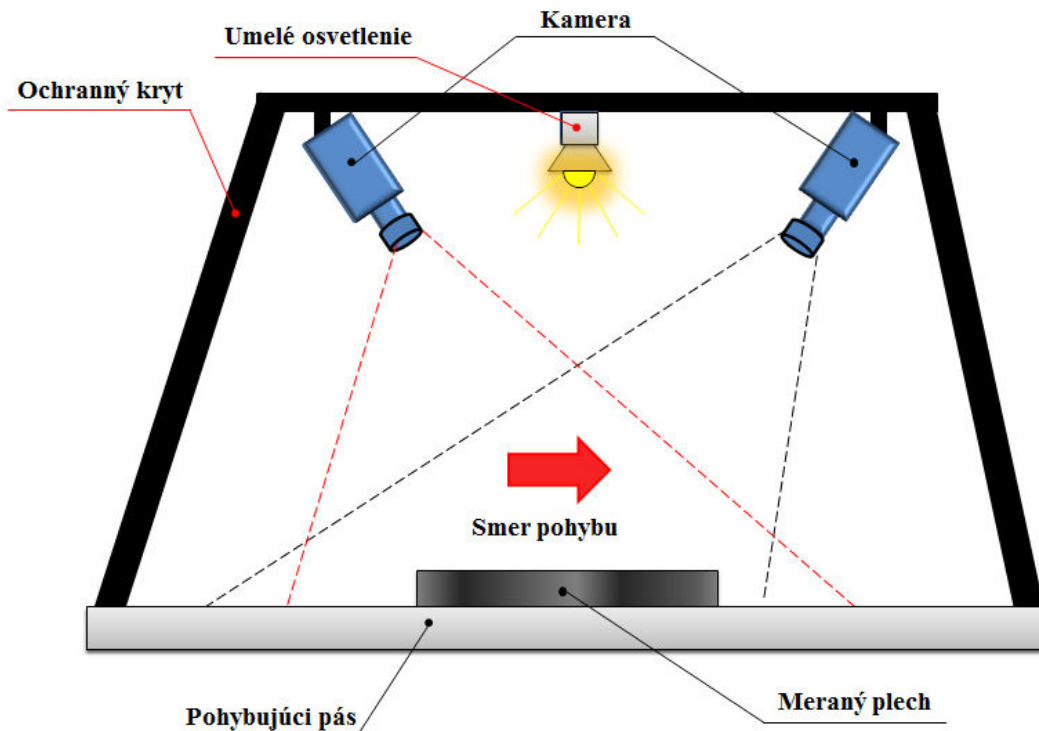
Výhody:

Najdôležitejšou výhodou tohto spôsobu konštrukcie je vysoká presnosť a možnosť merať pod akýmkoľvek uhlom. Ďalej tento spôsob nevyžaduje konštantnú rýchlosť preto je možné využiť na pohyb pás alebo valčeky bez toho, aby dochádzalo k vydieraniu. Na záver táto metóda vyžaduje len jeden prechod meraného plechu čo výrazne zvyšuje rýchlosť merania.

Nevýhody:

Jediné nedostatky tohto prevedenia sú vysoká cena a zložitosť konštrukcie.

4.5. Využitie 2 kamier



Obr. 4.5: Schéma návrhu využitia 2 kamier

Postup merania

Na rozdiel od predchádzajúcich návrhov v tomto meraní sa na určenie rozmerov plechu využíva 2 kamerové snímače namiesto laserových. Proces merania prebieha za pohybu súčiastky. Meraný plech uložený na pohybujúci pás vojde do meracieho zariadenia ktoré musí mať kryt a umelé osvetlenie aby nedochádzalo k rušeniu okolitým svetlom. Následne dve kamery umiestnené pod uhlom snímajú obrázky počas celého pohybu plechu meranou oblasťou. Na záver sú tieto snímky vyhodnotené a vypočítajú sa z nich rozmery plechu.

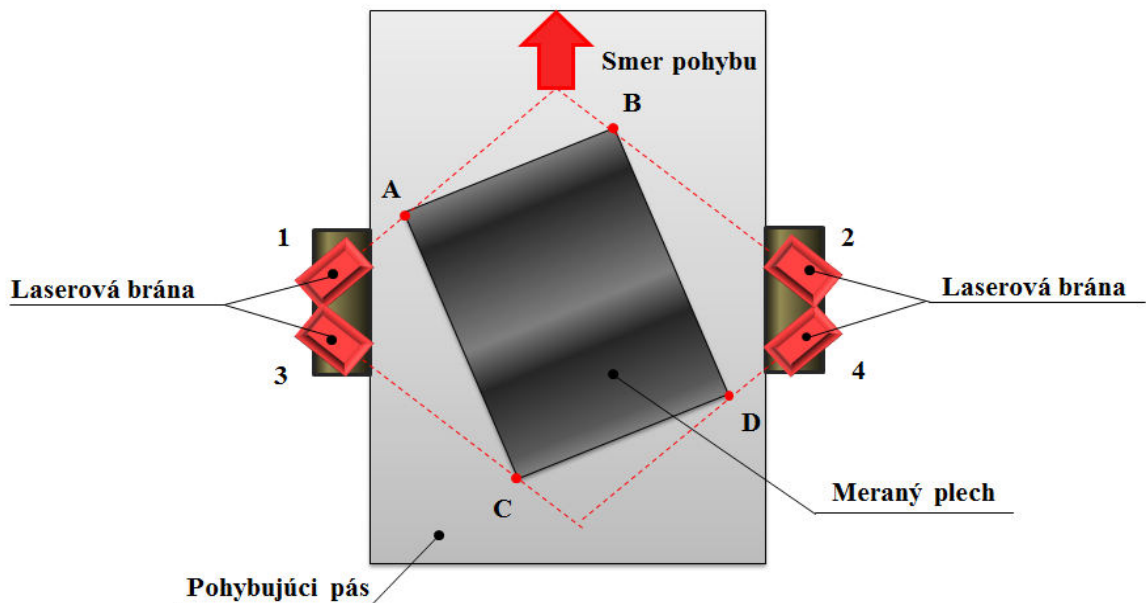
Výhody:

Kamery na rozdiel od laserových senzorov snímajú plechy ako celok a nie len ich hrany. Preto majú oproti laserom možnosť snímať plechy akéhokoľvek tvaru. Preto majú širokú škálu aplikácií pri meraní rozmerov.

Nevýhody:

Najpodstatnejšou nevýhodou kamerových snímačov je problém pri dosahovaní požadovanej presnosti. Na dosiahnutie presnosti 0.5 mm pri zadanom rozsahu rozmeru plechov by bolo nutné použiť veľmi drahú a výkonnú kameru čo má za následok vysokú cenu prevedenia. Okrem toho pri dátovej analýze snímok hrubších plechov môže dochádzať k problému s rozoznávaním bočných stien plechu a vrchnej steny čo môže spôsobovať výrazné chyby merania. Tento vplyv je možné síce znížiť použitím dvoch kamier umiestnených pod uhlom no nie je možné ho úplne odstrániť.

4.6. Využitie laserových brán



Obr. 4.6: Schéma návrhu využitia laserových brán

Postup merania

Posledný návrh využíva k meraniu plechov 4 laserové brány. Na rozdiel od triangulačných senzorov, laserová brána zachytáva len čas v ktorom dôjde k prerušeniu lúča. Z tohto dôvodu je nutné umiestniť laserové brány pod 45° uhlom (vid. Obr. 3.6). Počas prechodu meraný plech pretne svojimi prednými rohmi najprv zadné senzory a následne predné senzory, z čoho je možné určiť rýchlosť akou sa meraný plech pohybuje. Následne je získaná informácia o čase, kedy plech prestal prerušovať laserový lúč, čo znamená čas prechodu zadných rohov plechu. Nakoniec sa z informácií o polohách 4 rohov plechu určia jeho rozmery.

Výhody:

Laserové brány sú výrazne lacnejšie ako triangulačné senzory preto hlavnou výhodou tejto varianty je nízka cena. Ďalej vyššie zmienené rozloženie brán nevyžaduje presnú kolmosť hrán plechu a preto má nižšie požiadavky na presnosť odrezania meraného plechu.

Nevýhody:

Hlavným problém tu nastáva v momente, kedy je meraný plech uložený pod podobným uhlom, ako sú smerované lúče, čo spôsobí prerušenie brány iným bodom ako rohom plechu. Ďalej je požadovaná konštantná rýchlosť pohybu plechu, pretože s laserovými bránami nie je možné nerovnomerný pohyb kompenzovať. Výsledkom tohto problému je vyššia nepresnosť merania ako pri predošlých metódach.

5. Testovanie

Pre účely testovania vyššie zmienených návrhov bolo zhotovené malé testovacie zariadenie a boli zapožičané triangulačné senzory ILD 1402 a ILD 1700 od firmy MICRO-EPSILON.

5.1. Triangulačný senzor ILD 1402

Hlavnou výhodou senzoru ILD 1402 (Obr. 5.1) je jeho cena. Tento senzor je o viac než polovicu lacnejší ako senzor ILD 1700, pričom využíva rovnaké programovacie príkazy, čo znamená že vytvorené programy je možné veľmi jednoducho aplikovať na oba senzory.

ILD 1402 zaznamenáva dáta s frekvenciou 1.5 kHz s linearitou maximálne 0,5% z plného rozsahu (120 - 3000 μ m) , čo umožňuje veľmi rýchle a presné zaznamenávanie údajov z merania. Tento senzor je dodávaný vo viacerých meracích rozsahoch. Zvolený bol merací rozsah 600 mm s počiatočným bodom merania vo vzdialenosti 200mm od senzoru. Tento rozsah teda výborne pokrýva rozmery požadované v zadaní práce. Na záver pre komunikáciu senzoru ILD 1402 s počítačom bol využitý konvertor RS422 / USB (obr. 5.3) tiež od firmy MICRO-EPSILON.[\[5\]](#)



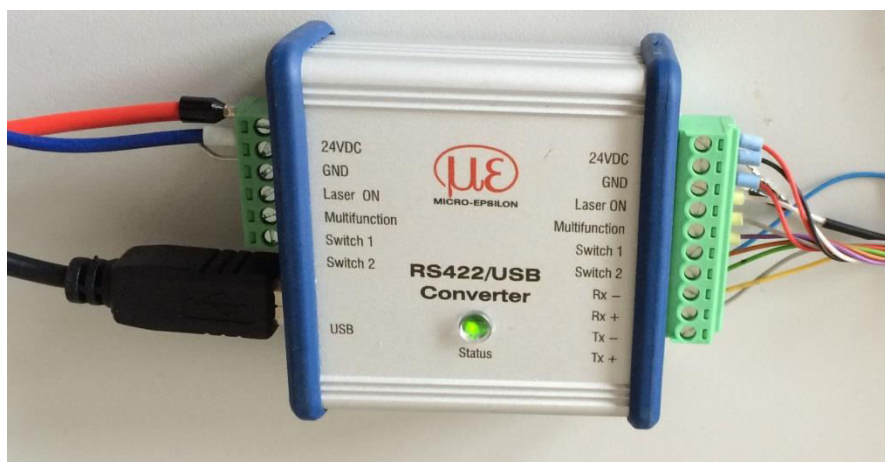
Obr. 5.1: Fotografia triangulačného senzoru ILD 1402

5.2. Triangulačný senzor ILD 1700

Senzor ILD 1700 (Obr. 5.2) je oproti ILD 1402 síce drahší no disponuje omnoho lepšími parametrami. Jeho frekvencia zaznamenávania dát je 2.5 kHz a jeho linearita je $\pm 0.1\%$ z plného meracieho rozsahu čo znamená že zaznamenáva dáta výrazne presnejšie a rýchlejšie ako ILD 1402. Merací rozsah ILD 1700 je 750 s počiatočným bodom merania vo vzdialenosti 200mm od senzoru čo je dokonca prekračuje požiadavky na merací rozsah v zadaní. Na záver pre komunikáciu s počítačom bol opäť využitý konvertor RS422 / USB. [10]



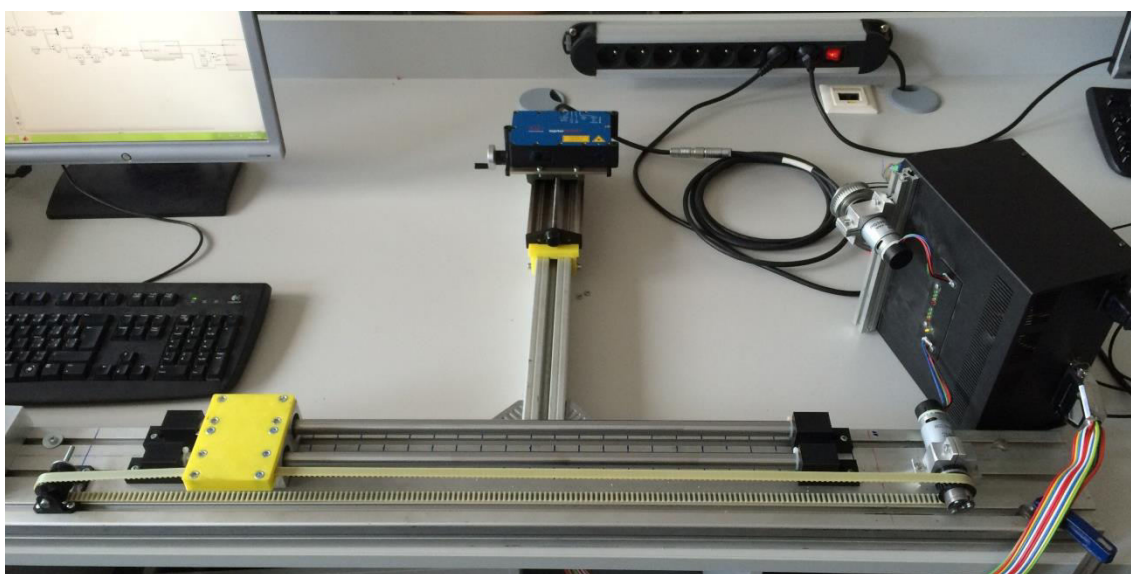
Obr. 5.2: Fotografia triangulačného senzoru ILD 1700



Obr. 5.3: Fotografia konvertoru RS422 / USB

5.3. Konštrukcia meracieho zariadenia

Po zapožičaní vyššie zmienených senzorov nasledovalo konštruovanie malého meracieho zariadenia, na ktorom by bolo možné testovať navrhované metódy. Cieľom bolo overiť možnosti merania rozmerov pohybujúcich sa odrezkov pomocou triangulačného optického senzoru. Na skonštruovanie tohto zariadenia boli použité: 2 lineárne posuvy, DC motor s kvadrátúrnym enkodérom, upevňovacia lišta, presný lineárny posuv a zvyšné komponenty boli vytlačené pomocou 3D tlačiarne. Po zložení všetkých komponentov spolu so zapožičanými senzormi, boli senzory napojené na zdroj napätím 24 V a motory napojené na motor spojený s počítačom (vid. Obr. 5.4). Keďže firma MICRO-EPSILON zapožičala len jeden PC konvertor bolo možné pri meraní využívať iba každý senzor zvlášť.



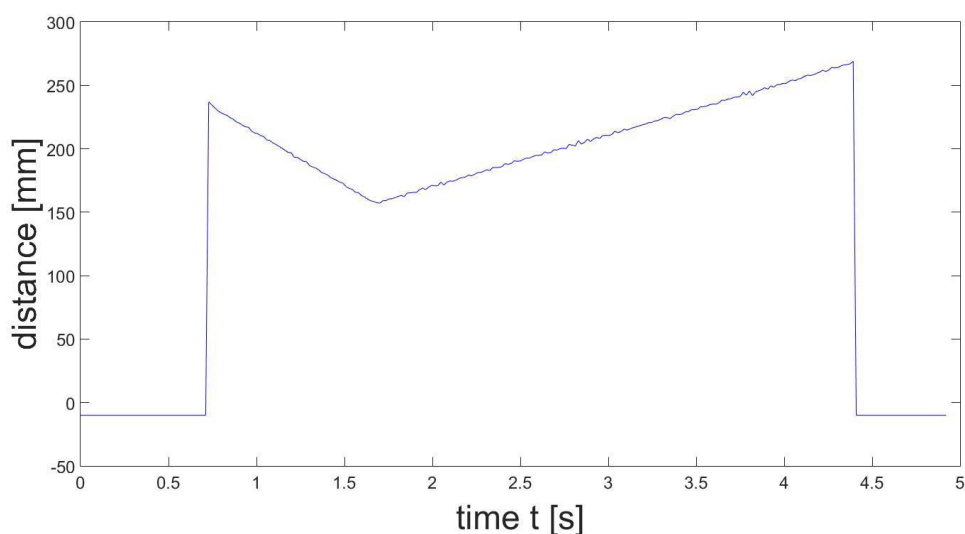
Obr. 5.4: Fotografia zapojeného meracieho zariadenia.

Na ovládanie zapojeného DC motoru bol vytvorený jednoduchý algoritmus v programe Matlab Simulink, ktorý okrem kontroly pohybu motora, zaznamenával aj informáciu o jeho uhlovej rýchlosti zo zabudovaného enkodéru. Prenos informácií medzi počítačom a motorom bol realizovaný analógovou kartou HW mf-624.

5.4. Meranie

Vyššie spomenuté zariadenie bolo použité na nameranie dátových vzoriek, potrebných pre overenie navrhovaných metód a ich použitia v praxi. Boli vykonané 4 merania skúmajúce rôzne vlastnosti optických senzorov pri ich aplikácii.

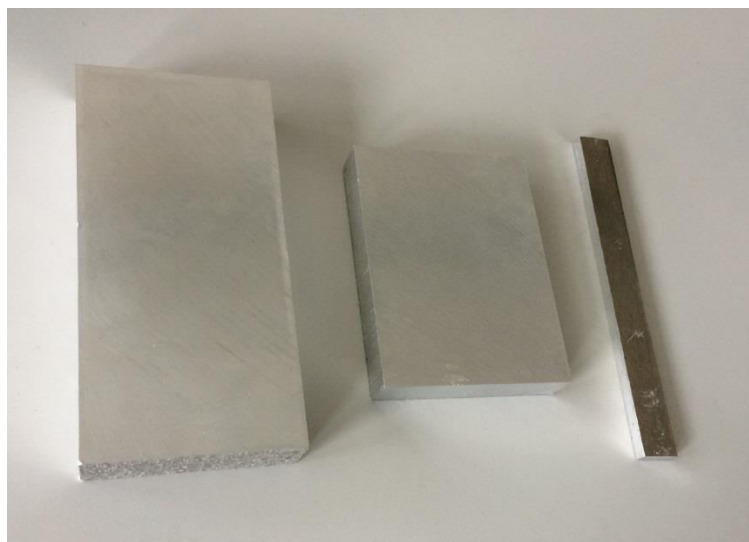
K samotnému procesu získavania dát bol použitý program dodaný firmou MICRO-EPSILON. Tento program zaznamenával a vykresľoval informácie o vzdialenosti a čase. Získané informácie boli neskôr spracované pomocou algoritmu, ktorý je podrobnejšie opísaný v nasledujúcej [kapitole](#). Výstup algoritmu bol neskôr porovnávaný s reálnou vzdialenosťou odmeranou ručne.



Obr. 5.5: *Dáta zaznamenané programom od MICRO EPSILON*

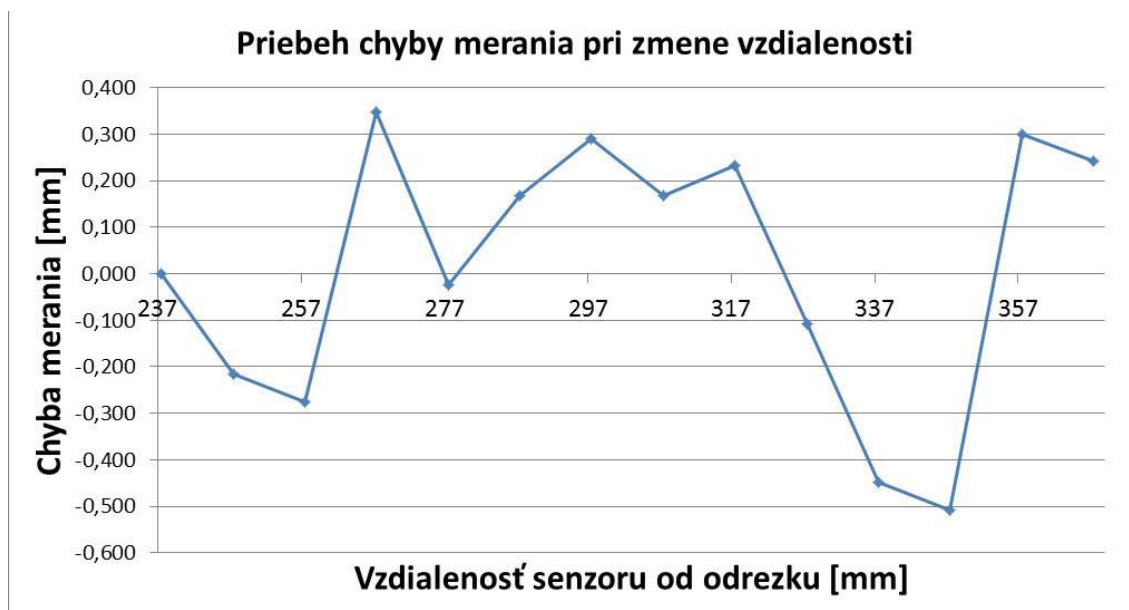
Pri prvom meraní bola v rôznych bodoch zaznamenávaná informácia o vzdialenosti zo senzoru a porovnávaná so vzdialenosťou nameranou iným spôsobom. Tento proces sa zopakoval pre 3 testovacie kusy (vid. Obr. 5.6.) a za použitia oboch senzorov, pričom merací kus bol umiestnený hranou kolmo k meraciemu lúču senzoru.

Ďalej nasledovalo rovnaké meranie, ale so zmenou uloženia odrezku. Cieľom bolo zistiť schopnosť senzoru merať vzdialenosť od kusu umiestneného tak, že jeho hrana zvierá s meracím lúčom uhol 15° , 30° a 45° . Na záver sa spravili merania s náhodným uhlom.



Obr. 5.6: *Fotografia testovacích odrezkov*

V druhom meraní bola testovaná reakcia senzorov na posuv. Na začiatku bola zaznamenaná informácia o vzdialenosti zo senzoru v počiatočnom bode a následne bol senzor pomocou presného lineárneho posuvu posunutý o 10mm bližšie k meranému kusu, uloženému hranou kolmo k lúču senzoru. Celý proces sa zopakoval 7 krát v rôznych počiatočných bodoch tak, aby bol pokrytý celý merací rozsah oboch senzorov. Následne sa celé meranie opakovalo znova pri uhloch 15° , 30° a 45° .



Obr. 5.7: Namerané hodnoty senzorom ILD 1700 pri druhom meraní

Úlohou tretieho merania bolo otestovať senzory pri meraní odrezku v pohybe. Na začiatku bola nastavená konštantná rýchlosť, ktorá bola pred začatím merania zaznamenaná. Merací kus bol uložený na lineárne posuvy a uvedený do pohybu tak, aby každá meracia vzorka obsahovala prechod kusu v oboch smeroch. Meranie sa opäť zopakovalo pre oba senzory pri rôznych vzdialenostiach a uhloch, aby bol pokrytý celý merací rozsah senzoru.

Na záver v štvrtom meraní bol použitý postup z tretieho merania. Rýchlosť pohybu odrezku bola však upravená tak, aby mala charakter sínusovej funkcie a následne pri ďalšom meraní bolo do programu motoru vložené rušenie ktoré spôsobovalo, že dochádzalo k trhanému pohybu odrezku.

5.5. Spracovanie dát

Posledným krokom testovania zvolených metód bolo spracovanie nameraných dát. K tomuto účelu boli vytvorené 2 algoritmy schopné odstrániť rušenie z výstupných dát senzoru a spočítať rozmery odmeraného odrezku. Každý z algoritmov pracuje na inom princípe a využíva iné spôsoby na spracovanie vstupných dát.

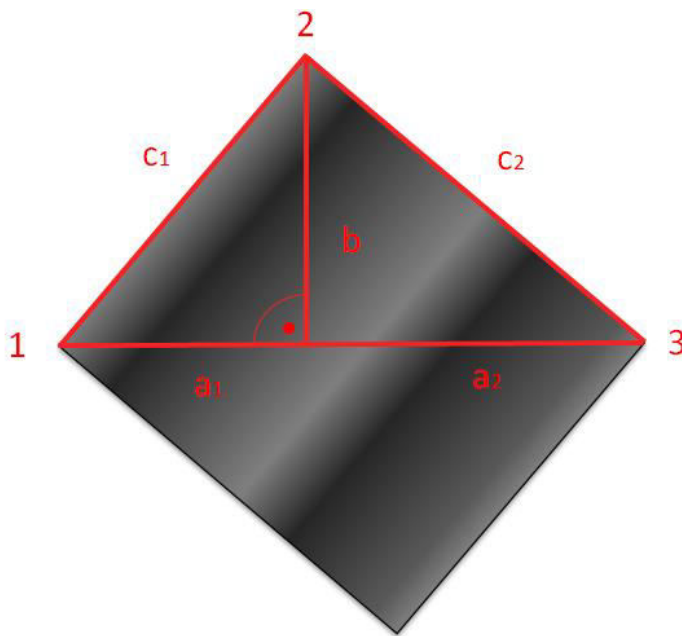
a) Výpočet pomocou Pytagorovej vety

Prvý algoritmus využíva k stanoveniu rozmerov meraného kusu Pytagorovu vetu. Tento algoritmus vychádza z predpokladu že merané odrezky majú obdĺžnikový tvaru a teda profil dvoch strán zachytených senzorom má tvar pravouhlého trojuholníka. Vstupmi do algoritmu sú čas t a súradnica Y získané z optického senzoru a rýchlosť v pohybu odrezku získaná z kvadratického enkodéru umiestneného na DC motore. Následne sa vypočíta súradnica X zo vzťahu

$$X = v * t \quad (5.1)$$

V ďalšom kroku algoritmus odstráni z dát rušenie a určí súradnice prvého a posledného bodu (body 1 a 3) meraného profilu a súradnicu bodu s najvyššou hodnotou súradnice Y (bod 2). Na základe týchto troch bodov vieme určiť strany a a b zvoleného trojuholníka (vid Obr. 5.8) a vypočítať rozmer odrezku definovaný stranou c zo vzťahu pre Pytagorovu vetu :

$$c = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (5.2)$$



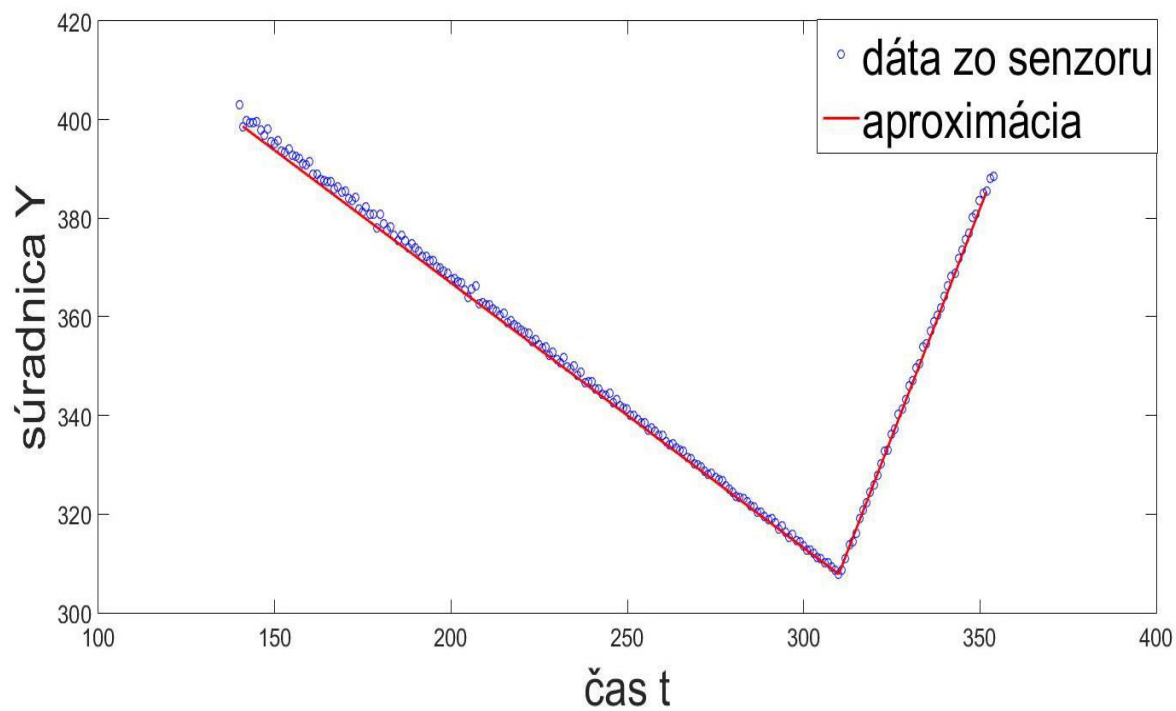
Obr. 5.8: Schéma výpočtu algoritmu využívajúceho Pytagorovu vetu

b) Použitie metódy najmenších štvorcov

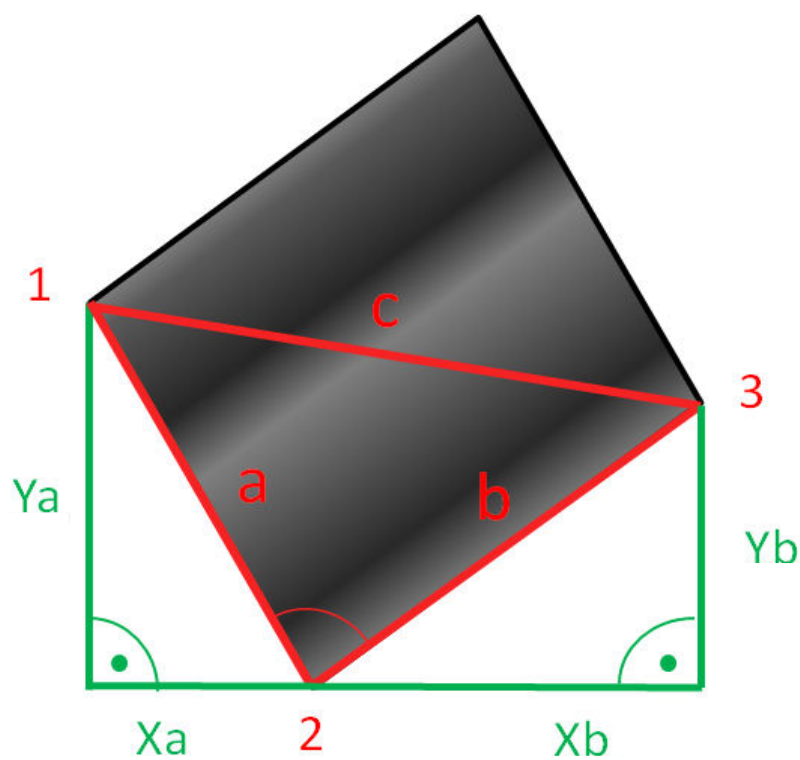
Druhý algoritmus využíva k zisteniu rozmerov preloženie dát priamkou pomocou metódy najmenších štvorcov. Na rozdiel od prvého algoritmu vstupy vstupmi do algoritmu sú iba čas t a súradnica Y získané z optického senzoru. Na začiatku program odstráni z vstupných dát hodnoty kde nedochádzalo k meraniu (senzor podáva hodnotu súradnice $Y = 10$). Následne vstupný signál aproximuje dvoma priamkami (vid. Obr. 5.9), ktorých súradnice sú vypočítané metódou najmenších štvorcov (vzťah (3.6)) a získa súradnice 3 rohov meraného odrezku. V druhej časti program využíva predpoklad kolmosti strán odrezku na získanie rýchlosti prechodu. Ako prvé pomocou Pytagorovej vety program získa rozmery strán a , b a c (vid. Obr. 5.10). Rýchlosť pohybu pri meraní spôsobuje skreslenie nameraných dát výsledkom čoho je že aproximované priamky nezvierajú pravý uhol. Preto následne program vypočíta stranu c_2 opäť pomocou Pytagorovej vety, kde strany a a b sú odvesny pravouhlého trojuholníka. Na záver získa rýchlosť prechodu zo vzťahu :

$$v = \frac{c}{c_2} \quad (5.3)$$

Výsledné rozmery sú potom spočítané rovnako ako v predchádzajúcom programe.



Obr. 5.9: Preloženie vstupných dát priamkou



Obr. 5.10: Schéma výpočtu 2. algoritmu

6. Záver

Hlavným cieľom tejto práce bolo navrhnuť zariadenie na meranie obdĺžnikových kovových odrezkov, ktoré by spĺňalo požiadavky zadávateľa. Dôraz bol kladený najmä na presnosť a rýchlosť merania. Za týmto účelom ako prvé v [kapitole 3.](#) bol spravený teoretický prieskum spôsobov merania, analýzy nameraných dát a typov aplikovateľných senzorov pre túto úlohu. Následne v [kapitole 4.](#) boli zvolené najvhodnejšie senzory a bolo vytvorených 6 návrhov konštrukcie meracieho zariadenia. Tieto návrhy pracovali s laserovými bránami, triangulačnými optickými senzormi, kamerami a enkodérmi v kombinácii so servomotorom. Neskôr boli zhodnotené a na základe ich výhod a nevýhod boli zvolené návrhy využívajúce optické triangulačné senzory ako najvhodnejšie.

Ďalším krokom bolo otestovanie navrhnutých variant a senzorov v praxi. [Kapitola 5.](#) opisuje konštrukciu testovacieho zariadenia a postupy uskutočnených meraní. Ich úlohou bolo overiť presnosť a rýchlosť merania triangulačných senzorov pri meraní stojaceho a pohybujúceho sa odrezku. Okrem toho, sa zisťoval vplyv natočenia odrezku na výslednú presnosť merania. Ďalej pre spracovanie nameraných dát zo senzorov boli vytvorené dva algoritmy (vid. [kap. 5.5](#)) v programe Matlab. Pri meraní stojaceho odrezku uloženého kolmo k senzoru bola dosiahnutá presnosť približne $\pm 1\text{mm}$ s použitím senzoru ILD1402 a približne $\pm 0.5\text{mm}$ pri použití senzoru ILD1700 (vid. [obr. 5.7](#)). Meranie tiež ukázalo, že s narastajúcim uhlom uloženia odrezku voči lúču senzoru sa výrazne znižuje presnosť merania a to až na $\pm 3\text{mm}$ pri uložení 60° voči lúču senzoru pri použití ILD1402.

Pri meraní v pohybe boli použité vyššie zmienené algoritmy a odrezky boli ukladané v náhodnom uhle voči lúču senzoru. Pre prvý algoritmus bola priemerná chyba -5mm pre senzor ILD1402 a -3mm pre ILD1700. Druhý program mal priemernú chybu -2mm pre oba senzory a teda druhý program bol výrazne presnejší. Výsledná chyba merania v pohybe bola vždy záporná, z čoho vyplýva, že by bolo možné meranie spresniť úpravou použitých programov.

Na záver boli výsledné návrhy a poznatky z meraní odovzdané zadávajúcej firme a v súčasnosti sa pracuje na konštrukcii zariadenia podľa predloženého návrhu využívajúceho 3 optické senzory pri meraní stojaceho odrezku vid. [kap. 4.1](#). Toto zariadenie bude neskôr otestované v priemyselnej výrobe zadávateľa. V budúcnosti firma plánuje prejsť na konštrukciu využívajúcu 4 optické senzory pri meraní v pohybe vid. [kap. 4.4](#) na zvýšenie produktivity meracieho zariadenia.

7. Zoznam použitých zdrojov

- [1] BELÁTĚ, Jaroslav; ŠVARC, Ivan.: *Technická měření* 1. vyd. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1970, 292 s.
- [2] MARTINEK, Radislav.: *Senzory v průmyslové praxi* 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2004, 200 s. ISBN 80-7300-114-4
- [3] ČERVENKA, Milan.: *Zpracování fyzikálních měření* [online]. 23.3.2013 [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: <http://fyzika.feld.cvut.cz/~cervenka/vyuka/zprfm/zpracdat.pdf>
- [4] MOJŽIŠ, Miroslav.: *Priemyselné meranie* [online]. 2011 [cit. 2017-03-20]. Dostupné z: <http://kteem.fei.tuke.sk/dokumenty/PM.pdf>
- [5] *Instruction Manual opto NCDT 1402* [online]. 2008 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <http://www.micro-epsilon.com/download/manuals/man--optoNCDT-1402-en.pdf>
- [6] *Distance Sensors* [online]. 2012 [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: https://www.sick.com/media/dox/8/08/108/Product_catalog_Distance_Sensors_en_IM0045108.PDF
- [7] MAREČEK, David.: *Parkovací Asistent. Brno 2012. 44 s.* Bakalárska práca na fakulte Informačních technologií univerzity Vysoké učení technické v Brně na ústave Inteligentních systémů. Vedúci bakalárskej práce Ing. David Kubát
- [8] VODIČKA, Petr.: *Systém pro kontrolu rozměrů transportního nosiče. Brno 2015. 45 s.* Bakalárska práca na fakulte Strojního inženýrství univerzity Vysoké učení technické v Brně na ústave Fyzikálního inženýrství. Vedúci bakalárskej práce Ing. Martin Antoň. Ph.D.
- [9] JUHÁS, Miloš.: *Senzorový systém pro mobilní robot. Brno 2009. 51 s.* Bakalárska práca na fakulte Elektrotechniky a komunikačních technologií univerzity Vysoké učení technické v Brně na ústave Radioelektroniky. Vedúci bakalárskej práce Ing. Zbyněk Fedra. Ph.D.
- [10] *Instruction Manual opto NCDT 1700* [online]. 2008 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <http://www.micro-epsilon.com/download/manuals/man--optoNCDT-1700-en.pdf>
- [11] *Nejpoužívanější snímače v automatizaci* [online]. 2010 [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: <https://coptkm.cz/portal/?action=2&doc=7943&instance=1>

Zoznam obrázkov

Obr. 3.1:	Grafické vyjadrenie chyby merania	11
Obr. 3.2:	Bloková schéma senzoru.....	13
Obr. 3.3:	Princíp merania ultrazvukového senzoru.....	16
Obr. 3.4:	Porovnanie spektra LED a laserovej diódy.....	18
Obr. 3.5:	Metoda merania fázového posunu.....	19
Obr. 3.5:	Triangulačný senzor.....	20
Obr. 3.6:	Schéma metódy merania intenzity svetla.....	21
Obr. 4.1:	Schéma návrhu využitia 3 laserových senzorov.....	23
Obr. 4.2:	Schéma návrhu využitia servomotoru s enkodérom a laserového senzoru...24	
Obr. 4.3:	Schéma návrhu využitia 2 laserových senzorov v pohybe.....	25
Obr. 4.4:	Schéma návrhu využitia 4 laserových senzorov v pohybe.....	26
Obr. 4.5:	Schéma návrhu využitia 2 kamier.....	27
Obr. 4.6:	Schéma návrhu využitia laserových brán.....	28
Obr. 5.1:	Fotografia triangulačného senzoru ILD 1402.....	29
Obr. 5.2:	Fotografia triangulačného senzoru ILD 1700.....	30
Obr. 4.3:	Fotografia konvertoru RS422 / USB.....	30
Obr. 4.3:	Fotografia zapojeného meracieho zariadenia.....	31
Obr. 5.5:	Dáta zaznamenané programom od MICRO EPSILON.....	32
Obr. 5.6:	Fotografia testovacích odrezkov.....	32
Obr. 5.7:	Namerané hodnoty senzorom ILD 1700 pri druhom meraní.....	33
Obr. 5.8:	Schéma výpočtu algoritmu využívajúceho Pytagorovu vetu.....	34
Obr. 5.9:	Preloženie vstupných dát priamkou.....	35
Obr. 5.10:	Schéma výpočtu 2. algoritmu	35